



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ Übersetzung der  
europäischen Patentschrift  
⑯ EP 0945 319 B 1  
⑯ DE 699 00 126 T 2

⑯ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 60 T 8/00**  
G 01 C 21/20  
B 60 G 17/015  
G 01 P 3/38

**DE 699 00 126 T 2**

⑯ Deutsches Aktenzeichen: 699 00 126.9  
⑯ Europäisches Aktenzeichen: 99 302 038.7  
⑯ Europäischer Anmeldetag: 16. 3. 1999  
⑯ Erstveröffentlichung durch das EPA: 29. 9. 1999  
⑯ Veröffentlichungstag der Patenteilung beim EPA: 30. 5. 2001  
⑯ Veröffentlichungstag im Patentblatt: 29. 11. 2001

⑯ Unionspriorität: 79321 P 25. 03. 1998 US 149372 08. 09. 1998 US	⑯ Erfinder: Hart, Jr., Arthur Clifford, Chester, New Jersey 07930, US; Kordys, Matthew A., Flanders, New Jersey 07836, US; Nalwa, Vishvjit Singh, Middletown, New Jersey 07748, US; Pingali, Sarma VGK, Basking Ridge, New Jersey 07920, US
⑯ Patentinhaber: Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US	
⑯ Vertreter: derzeit kein Vertreter bestellt	
⑯ Benannte Vertragstaaten: CH, DE, ES, FR, GB, IT, LI	

⑯ Bestimmung der dynamischen Eigenschaften von Kraftfahrzeugen

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**DE 699 00 126 T 2**

17.07.01

0945319

- 1 -

## ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

### Erfindungsgebiet

Die Erfindung betrifft einen Prozeß zum  
5 Bestimmen von Dynamikeigenschaften eines Fahrzeugs,  
insbesondere des Schräglaufwinkels eines Kraft-  
fahrzeugs.

### Erörterung des Standes der Technik

10 Kraftfahrzeugrenntteams sind daran interessiert,  
eine Vielfalt von Fahrzeugdynamiken zu messen, um die  
Leistung ihrer Fahrzeuge zu verbessern. Renntteams  
stellen insbesondere zahlreiche Parameter ihrer  
Fahrzeuge in Abhängigkeit von den Charakteristiken  
15 einer bestimmten Bahn ein, zum Beispiel der Neigung von  
Bahnkurven und der Bahnoberfläche. Viele Renntteams  
verwenden sogar für die Auslegung und für das Vornehmen  
von Einstellungen an ihren Fahrzeugen fortgeschrittene  
Rechnersysteme. Siehe beispielsweise Computer Aided  
20 Engineering, Band 10, Nr. 5, Mai 1991 auf Seite 20, wo  
man einen Überblick über die von Renntteams verwendeten  
CAD-Systeme erhält (CAD = Computer Aided Design). Die  
Systeme basieren in der Regel auf der Eingabe von  
zahlreichen Fahrzeug- und Bahnvariablen, um zum Erhalt  
25 einer größeren Geschwindigkeit und Stabilität die beste  
Kombination von Fahrzeugcharakteristiken zu bestimmen.

Eine derartige Fahrzeugcharakteristik sind die  
Reifen. Die an einem Rennwagen verwendeten Reifen  
variieren je nach den Charakteristiken der einzelnen  
30 Bahn. An einem einzelnen Rennwagen werden in der Regel  
sogar vier Reifen mit verschiedenen Eigenschaften  
verwendet. Eine Fahreigenschaft, die die Reifenwahl  
wesentlich beeinflußt, ist der Schräglaufwinkel. Wie in  
35 Figur 1 wiedergegeben, die eine Draufsicht auf ein  
Fahrzeug 10 darstellt, ist der Schräglaufwinkel als der  
Winkel ( $\alpha$ ) zwischen der Steuerrichtung (Strahl X) des  
Fahrers und der Fahrrichtung (Strahl Y) des Fahrzeugs  
definiert. Der Schräglaufwinkel ist ein wohlbekanntes

Phänomen und wird beispielsweise in Milliken et al., Race Car Vehicle Dynamics, SAE International, 1995, erörtert, dessen Offenbarung unter Bezugnahme hier aufgenommen ist. Für ein bestimmtes Fahrzeug und 5 bestimmte Reifen induzieren individuelle Rennbahnen verschiedene Schräglaufwinkel um die Kurven der Bahnen herum. Da die einzelnen Räder eines Rennwagens in der Regel so ausgelegt sind, daß sie während einer Drehung in verschiedene Richtungen steuern, kann jedes Rad 10 sogar einen anderen Schräglaufwinkel aufweisen. Ein Rennteam stellt normalerweise die Reifeneigenschaften, z.B. Profil, Material, Breite, Durchmesser, Konstruktion und Druck, in Abhängigkeit von dem berechneten Schräglaufwinkel ein, um einen Schräglauwinkel 15 zu erhalten, der für eine verbesserte Fahrzeugleistung sorgt. Aus diesem Grund ist eine relativ einfache und zuverlässige Messung des Schräglauwinkels in Echtzeit erwünscht.

Gegenwärtige Systeme zum Bestimmen von 20 Eigenschaften, wie etwa Schräglaufwinkel, sind jedoch in der Regel kompliziert und hängen von mehreren getrennten Meßeinrichtungen ab, die einem Mikroprozessor Informationen zuführen, der dann verschiedene Fahreigenschaften, auch den Schräglaufwinkel, schätzt. 25 Die meisten dieser komplexen Systeme wurden von Kraftfahrzeugherstellern bei der Einführung und Verbesserung von Sicherheitssystemen wie etwa Antiblockierbremsen und Antriebsschlupfregelung entwickelt. Bei derartigen Sicherheitssystemen sind die 30 Hersteller in der Regel daran interessiert, eine Vielfalt von Parametern zu messen und/oder zu berechnen, z.B. Gieren (Drehungsgrad um die vertikale Achse), seitliche Beschleunigung (Seite zu Seite), Längsbeschleunigung (vorne nach hinten), Steuerwinkel 35 und Schräglaufwinkel. Durch diese Parameter können Einstellungen bei der Steuerung, der Beschleunigung oder dem Bremsen schnell und automatisch vorgenommen werden, um die Bewegung eines Kraftfahrzeugs zu regeln, z.B. ein Rutschen zu regeln. Siehe zum Beispiel die

US-Patente Nummern 4,679,808 ("das '808-Patent"), 5,040,115 ("das '115-Patent") und 5,579,245 ("das '245-Patent"), die alle zum Berechnen eines Schräglaufwinkelwerts eine Vielfalt von gemessenen 5 Eigenschaften verwenden.

In dem '808-Patent wird ein System erörtert, um Vorder- und/oder Hinterradsteuerwinkel zu bestimmen, die notwendig sind, um gewünschte Kurvenfahrcharakteristiken zu liefern. Ein in dem Patent 10 beschriebenes System enthält einen Steuerradwinkelsensor, einen Fahrzeuggeschwindigkeitsensor, einen Sensor zum Bestimmen einer ersten Bewegungsvariablen, wie etwa der Gierrate, einen Sensor zum Bestimmen einer zweiten Bewegungsvariablen, wie etwa der 15 Gierbeschleunigung, und einen Mikroprozessor. Der Mikroprozessor berechnet Schätzwerte für die erste und zweite Bewegungsvariable auf der Grundlage eines mathematischen Fahrzeugmodells, des Steuerwinkels und der Fahrzeuggeschwindigkeit und bestimmten 20 Fahrzeugcharakteristiken. In einigen Situationen erfolgen Einstellungen an der gemessenen ersten und zweiten Bewegungsvariablen auf der Grundlage dieser Schätzwerte. Dann wird auf der Grundlage der ersten und zweiten Bewegungsvariablen und der gemessenen 25 Geschwindigkeit und dem gemessenen Steuerwinkel eine dritte Bewegungsvariable, wie etwa den Schräglaufwinkel, geschätzt. Das '115-Patent mißt auf ähnliche Weise mehrere Eigenschaften und gibt die Eigenschaften in einen Mikroprozessor ein, der dann auf 30 der Grundlage der eingegebenen Daten einen geschätzten Schräglaufwinkel berechnet. Das '115-Patent beschreibt eine Ausführungsform, die eine Längsbeschleunigungsüberwachungseinheit, eine Seitenbeschleunigungsüberwachungseinheit, einen Radgeschwindigkeitssensor und 35 eine Arithmetikschaltung zur Aufnahme der Daten enthält. Die Seitenbeschleunigungsdaten werden zum Berechnen des Schräglaufwinkels eines Fahrzeugs mit einem experimentell bestimmten Schräglaufkriterium verglichen. Das '245-Patent verwendet bei dem Versuch,

anstelle eines aus mehreren gemessenen Variablen berechneten Schätzwerts einen 'tatsächlichen' Schräglaufwinkel bereitzustellen, ein neuronales Netz. Das System des Patents mißt insbesondere die 5 Vorderradsteuerung, die Bewegung des Fahrzeugs, z.B. Geschwindigkeit, Seiten- und Längsbeschleunigung und Gierwinkelgeschwindigkeit, und berechnet auf der Grundlage der Steuer- und Bewegungsdaten einen geschätzten Schräglaufwinkelwert. Das neuronale Netz 10 berechnet einen Korrekturfaktor, um einen präziseren geschätzten Schräglaufwinkelwert zu liefern.

Systeme wie die oben erörterten eignen sich zwar zum Schätzen einer Eigenschaft, wie etwa des Schräglauwinkels, um am Bremsen, dem Steuern und/oder 15 der Beschleunigung in einem Personenkraftwagen Einstellungen vorzunehmen, doch sind derartige Systeme unnötig kompliziert, wenn es bei der Messung hauptsächlich um den Schräglaufwinkel geht. Außerdem sind die in derartigen Systemen erforderlichen Sensoren 20 in der Regel nicht für das rauhe Umfeld eines Rennfahrzeugs ausgelegt. Außerdem basiert bei derartigen bisherigen Systemen die Berechnung des Schräglauwinkels auf zahlreichen Variablen, z.B. Seitenbeschleunigung, Längsbeschleunigung und 25 seitliches Gieren, die alle einen Fehler in die Berechnung einbringen können. Angesichts der Anzahl der Variablen, die bereits in die von Renntteams verwendeten computergestützten Systeme eingegeben werden, müßte man erwarten, daß eine direktere Messung des Schräglau- 30 winkels den in solche Systeme eingebrachten Gesamtfehler reduziert, was zu einer verbesserten Leistung beiträgt.

Aus diesem Grund wird ein relativ einfacher Prozeß zum zuverlässigen und direkteren Messen der 35 Dynamiken eines Fahrzeugs, insbesondere des Schräglauwinkels, gewünscht.

Aus GB-A-1 408 078 ist ein wie in dem Oberbegriff von Anspruch 1 dargelegtes Verfahren bekannt.

Aus JP-A-05.079.850 (Patent Abstracts of Japan, Band 017, Nr. 412, (P-1583)) ist ein Verfahren zum Berechnen der Gierrate eines Fahrzeugs durch Bilden einer Korrelationsfunktion von Bildern von zwei an der 5 Vorderseite eines Fahrzeugs montierten Kameras bekannt.

#### KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Die Erfindung ist ein Prozeß, um beim Fahren mindestens eine Dynamik eines Fahrzeugs zu bestimmen, 10 insbesondere den Schräglauwinkel oder eine für den Schräglauwinkel charakteristische Eigenschaft. Beim Prozeß wird von dem Fahrzeug selbst aus in Echtzeit optisch die Bewegung in einem oder mehreren Kamerabildern von Oberflächenmerkmalen überwacht, 15 während das Fahrzeug über die Oberfläche fährt. (Merkmale einer Oberfläche geben optisch unterscheidbare Merkmale an, die mit dem größten Teil der Oberfläche kontrastieren, z.B. Fehler und Verfärbungen. So finden sich beispielsweise in einer 20 Asphaltstraßenoberfläche zahlreiche Kiesel und Steine in dem Asphalt, wobei diese Kiesel optisch unterscheidbare Merkmale in der Oberfläche darstellen.) Die Richtung, in der sich zu jedem gegebenen Zeitpunkt 25 die Oberflächenmerkmale bewegen, gibt die eigentliche Richtung der Fahrzeuggbewegung bezüglich der Orientierung des optischen Überwachungsgeräts an. Aus dieser eigentlichen Bewegungsrichtung kann man zusammen mit der bekannten Orientierung des optischen Überwachungsgeräts und der Richtung, in der das 30 Fahrzeug gesteuert wird, den Schräglauwinkel in Echtzeit berechnen.

Bei einer Ausführungsform beispielsweise ist eine Videokamera derart auf einem Fahrzeug montiert, daß die Kamera auf den Boden gerichtet ist. (Wie hier 35 verwendet, bezieht sich der Ausdruck Kamera auf eine Videokamera, wie etwa eine CCD-Kamera oder eine CMOS-Kamera.) Die Verschlußgeschwindigkeit der Kamera ist so eingestellt, daß die Bewegung von Oberflächenmerkmalen in einem einzelnen Erfassungs-

intervall (d.h. einer einzelnen Verschlußöffnung) Streifen bilden, die so groß sind, daß sie in einem einzelnen Bild (d.h. einem einzelnen Rahmen) beobachtet werden können, aber so klein sind, daß sie innerhalb 5 dieses Einzelbilds im wesentlichen enthalten sind (siehe Figuren 2A und 2B). Wenn sich das Fahrzeug auf einer flachen Oberfläche geradeaus bewegt (wobei angenommen wird, daß die Kamera zu den Rädern ausgerichtet ist), liegen die Streifen im wesentlichen 10 vertikal in dem ausgerichteten Bildrahmen der Kamera vor (siehe Fig. 2A). Wenn jedoch, wie oben erörtert, das Rad während der Bewegung gedreht wird, bewegt sich das Fahrzeug nicht exakt in die Radrichtung. Deshalb 15 sind die Streifen in dem Bildrahmen während eines Abbiegens nicht vertikal (siehe Fig. 2B). Wie in Fig. 3 wiedergegeben, wird die dominante Orientierung der Streifen bestimmt, und auf der Grundlage des Winkels der dominanten Orientierung und von Referenzinformationen (z.B. bekannte Orientierung des 20 Fahrzeugs bezüglich der Kamera) ist es möglich, den eigentlichen Schräglaufwinkel in Echtzeit zu berechnen. Aus der Länge der Streifen kann auch die Geschwindigkeit bestimmt werden. Es ist möglich, daß 25 die Kamera an einem Rad oder am Chassis des Fahrzeugs montiert ist, oder daß zur Verbesserung der Genauigkeit der Messungen und/oder zum Berechnen des Schräglaufwinkels einzelner Räder zahlreiche Kameras verwendet werden.

Bei einer anderen Ausführungsform werden nicht 30 die Streifen in einem einzelnen Kamerarahmen betrachtet, sondern es wird die Ortsänderung einzelner Oberflächenmerkmale in zwei aufeinanderfolgenden, eng beabstandeten Rahmen, die z.B. um ungefähr 1000  $\mu$ s beabstandet sind, überwacht, um die Richtung des 35 Fahrens zu bestimmen. Wie in Fig. 6 wiedergegeben, werden statische Merkmale aus den einzelnen Rahmen gewonnen (d.h. von dem Rest des Bilds unterschieden), und die Bewegungsvektoren 40 der Merkmale (d.h. sowohl die Bewegungsrichtung als auch die Geschwindigkeit)

werden bestimmt. Um den dominanten Bewegungsvektor 42 zu bestimmen, werden die Vektoren einzelner Merkmale analysiert. Solche Hochgeschwindigkeitskameras sind leider gegenwärtig teuer und recht massiv. Bei einer 5 dritten Ausführungsform werden deshalb zusammen mit einer Kamera ein oder mehrere Stroboskoplichter verwendet, so daß in einem einzelnen Kamerarahmen kurze Stroboskopblitze durchgeführt werden, z.B. zwei Stroboskopblitze von ungefähr  $10 \mu\text{s}$  in einem  $1000 \mu\text{s}$ - 10 Kamerarahmen. Wie in Fig. 8 wiedergegeben, werden die beiden Sätze von einzelnen Merkmalen dann aus diesem einzelnen Rahmen gewonnen, und ein dominanter Bewegungsvektor 54 der Merkmale wird bestimmt.

Somit stellt die Erfindung eine im Vergleich zu 15 bisherigen Verfahren relativ einfache und praktische Möglichkeit bereit, den Schräglauwinkel in Echtzeit direkter und zuverlässig zu messen.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

20 Fig. 1 zeigt den Schräglauwinkel eines Fahrzeugs.

Figuren 2A und 2B zeigen die Grundlagen einer Ausführungsform der Erfindung.

25 Figuren 3 und 3A zeigen die in einer Ausführungsform der Erfindung durchgeführte Analyse.

Fig. 4 zeigt eine Schablone, die bei der Analyse von Fig. 3 verwendet werden kann.

Figuren 5A und 5B zeigen eine globale Analyse eines Bilds in einer Ausführungsform der Erfindung.

30 Figuren 6, 6A und 6B zeigen die in einer anderen Ausführungsform der Erfindung ausgeführte Analyse.

Fig. 7 zeigt die in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung durchgeführten optischen 35 Messungen.

Fig. 8 zeigt die in der weiteren Ausführungsform der Erfindung ausgeführte Analyse.

Figuren 9 und 10 zeigen eine Vorrichtung, die sich zur Verwendung bei der Durchführung der weiteren Ausführungsform der Erfindung eignet.

##### 5 AUSFÜHLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

Bei einer ersten Ausführungsform der Erfindung wird die mit der Bewegung (z.B. Streifenbildung) von Oberflächenmerkmalen in einem einzelnen Kamerarahmen verbundene Beschaffenheit analysiert, um 10 Fahrzeugdynamiken zu bestimmen, insbesondere den Schräglauwinkel. Eine allgemeine Erörterung der Beschaffenheitsanalyse findet man in A. Ravishankar Rao, A Taxonomy for Texture Description and Identification, Springer-Verlag Publishers, New York, 15 1990, deren Offenbarung durch Bezugnahme hier aufgenommen ist. Die Verschlußgeschwindigkeit wird im allgemeinen auf der Grundlage der folgenden Beziehung eingestellt. Bei einem gegebenen Blickfeld 1 der Kamera bei Messung auf der Bodenebene entlang der Richtung 20 parallel zu der Steuerrichtung (wobei angenommen wird, daß die Kamera derart orientiert ist, daß sie sich zusammen mit einem Rad bewegt) und einer Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  gilt für die Verschlußbelichtungszeit  $t_s$  vorteilhaftweise:

$$25 \quad \frac{l}{2v} < t_s < \frac{l}{v}$$

Die Verschlußgeschwindigkeit  $t_s$  ist in der Regel auf ungefähr  $0,75\left(\frac{1}{v}\right)$  eingestellt. Beispielsweise wird der Rahmen in der Regel durch Belichtung über eine Zeitdauer (d.h. eine Verschlußgeschwindigkeit) von 30 ungefähr 4 ms bis ungefähr 1 ms bei Fahrzeuggeschwindigkeiten von ungefähr 100 mph oder darüber erhalten. Beim Prozeß der Erfindung verläuft die bevorzugte Blickrichtung für eine Kamera orthogonal zu der Bodenoberfläche, so daß die Bildebene parallel 35 zu der Bodenoberfläche verläuft.

Figur 3 umreißt ein Verfahren zum Bestimmen des Schräglauwinkels aus der Beschaffenheit eines

Straßenoberflächenbilds gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung. Wie in Kasten A gezeigt, werden relevante Bereiche (RB) 30 in einem einzelnen erfaßten Bild zur weiteren Verarbeitung ausgewählt.

5 Beschränkungen bei der Echtzeitverarbeitung werden berücksichtigt, indem die Verarbeitung auf diese relevanten Bereiche (RB) konzentriert wird. So ist es beispielsweise möglich, die Anzahl der analysierten RB auf der Grundlage der zur Verfügung stehenden

10 Verarbeitungszeit auszuwählen. Analog ist es möglich, die Größe der RB auf der Grundlage der erwarteten Merkmalsbewegung in den Bildern auszuwählen, zum Beispiel so, daß ein Streifen in einem einzelnen RB erfaßt wird. Außerdem ist es möglich, die Anzahl der in

15 einem Bild verarbeiteten RB dynamisch zu variieren, um Echtzeitbeschränkungen zu berücksichtigen. Die RB gestatten auch die örtliche Bestimmung der Bewegungsrichtung von Straßenmerkmalen in verschiedenen Teilen des Bilds.

20 Nachdem die RB ausgewählt worden sind, erfolgt die Verarbeitung in jedem RB, wie in Kasten B von Fig. 3 wiedergegeben, um etwaige Streifen 32 zu identifizieren, die auf Merkmale auf der Straßenoberfläche hinweisen. Um diese Streifen

25 elektronisch zu identifizieren, werden Ränder oder Punkte mit einem hohen Bildintensitätsgradienten in jedem RB identifiziert, wobei diese Ränder oder Punkte den Ort der Streifen zeigen. (Die Bildintensität gibt die Helligkeit des auf die Bildebene auftreffenden

30 Lichts an.) Ein hoher Bildintensitätsgradient weist auf Punkte hin, wo die örtliche Änderung der Bildintensitätswerte relativ hoch ist. Die Größe des Gradienten beträgt  $\sqrt{(\Delta y)^2 + (\Delta x)^2}$ , und die Orientierung

35 beträgt  $\tan^{-1}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)$ , wobei  $\Delta y$  die Intensitätsänderung in der y-Richtung und  $\Delta x$  die Änderung der Intensität in der x-Richtung darstellt. (Die Überwachung der Intensität soll die Messung verwandter Eigenschaften

beinhalten, z.B. der Raumfrequenz.) Wie in Fig. 3A gezeigt, sind die Streifen 32 häufig dicker als ein einzelnes Bildelement. (In diesem Zusammenhang gibt ein Bildelement ein Element eines Bilds an, das aus der 5 Digitalisierung eines Bilds entsteht.) Zusätzlich zu der Identifizierung des Orts der Streifen soll die Orientierung der Streifen 32 die Bestimmung der Richtung der Fahrzeugbewegung gestatten. Um die Orientierung eines Streifens 32 zu bestimmen, wird der 10 Streifen 32 durch Verknüpfen von Randbildelementen, beispielsweise gemäß dem folgenden Prozeß, bei dem die Randbildelementerfassung und die Verknüpfung kombiniert werden, um Verarbeitungszeit zu sparen, in ein Randsegment mit der Dicke eines einzelnen Bildelements 15 umgewandelt. (Es sind auch andere Prozesse möglich.)

Man starte in der linken unteren Ecke des RB.

1) Es wird algorithmisch von dem aktuellen Ort von links nach rechts und von unten nach oben 20 abgetastet. Anhalten, falls sich in dem RB kein unmarkiertes Bildelement findet (d.h. ein Bildelement, das entweder kein Randbildelement ist oder noch nicht "zu sehen" ist, wie unten erörtert).

2) Beim Antreffen eines unmarkierten 25 Bildelements wird die Gradientengröße und die Gradientenorientierung des unmarkierten Bildelements bestimmt (siehe unten). Markieren des aktuellen Orts des unmarkierten Bildelements als "Randstartort" eines neuen Randsegments. Wahl dieses neuen Randsegments als 30 das aktuelle Randsegment.

3) Falls die Gradientengröße einen (auf der Grundlage von vorherigem Wissen gesetzten) Schwellwert 35 übersteigt, Markierung des aktuellen Bildelements als Randbildelement. Ansonsten Markierung des aktuellen Bildelements als "gesehen". Bestimmung des benachbarten Kandidatenrandbildelements in einer 8-Bildelement-Nachbarschaft (a-d und f-i in Fig. 4) auf der Grundlage der Gradientenorientierung des aktuellen Bildelements, d.h. der acht Nachbarn des aktuellen Bildelements, Wahl

desjenigen Nachbarn, der der berechneten Gradientenorientierung des aktuellen Bildelements am nächsten liegt. Falls das benachbarte Kandidatenbildelement bereits (als ein Randbildelement oder als gesehen) markiert ist: Beenden des aktuellen Randsegments, Speichern des aktuellen Randsegments, Bewegen zu dem "Randstartort" und Wiederholung ab Schritt 1.

4) Falls das benachbarte Kandidatenbildelement unmarkiert ist, Markieren der verbleibenden unmarkierten benachbarten Bildelemente um das aktuelle Bildelement herum als "gesehen" und Bewegen zu dem in Schritt 3 bestimmten unmarkierten benachbarten Bildelement. Wiederholung ab Schritt 2.

15

Die Gradientengröße bei einem aktuellen Bildelement in Schritt 2 ist gegeben durch  $S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$ , während die Gradientenorientierung gegeben ist durch  $\phi = \tan^{-1}(S_y / S_x)$ ,

20 wobei:

$$S_x = (c + 2f + i) - (a + 2d + g)$$

und

$$S_y = (g + 2h + i) - (a + 2b + c),$$

wobei a, b, c, d, f, g, h, i den Intensitätswerten der

25 Bildelemente neben dem aktuellen Bildelement entsprechen, wie in Fig. 4 gezeigt. Solche Randerfassungsverfahren werden beispielsweise in I. Sobel, "Camera models and machine perception", AIM-21, Stanford AI Lab, Mai 1970 erörtert, dessen 30 Offenbarung hierdurch unter Bezugnahme aufgenommen ist.

Nach der Identifizierung von Randsegmenten in dem RB wird die Orientierung jedes Randsegments geschätzt, indem die am besten passenden Linie zu den Punkten auf dem Randsegment bestimmt wird. Eine relativ 35 schnelle Annäherung an diese am besten passende Linie gewinnt man unter anderem wie folgt. Die Endpunkte der Randsegmente werden, wie in Kasten C von Fig. 3 gezeigt, durch eine gerade Linie 34 verbunden, und die

Anzahl der Randsegmentpunkte, die nahe an der Linie 34 liegen, werden geprüft. Falls eine ausreichende Anzahl von Punkten nahe an der Linie 34 liegt (z.B. liegen mindestens 95% der Punkte innerhalb von 2 Bildelementen 5 der Linie), wird die Linie 34 als eine gute Annäherung an das Randsegment betrachtet, und die Orientierung des Segments ist durch die Orientierung der Linie 34 gegeben. Ansonsten wird das Randsegment als ungünstig angesehen. Falls die meisten (z.B. ungefähr 50% oder 10 darüber) der Randsegmente in einem RB ungültig sind, wird der RB als ungültig angesehen. Ansonsten wird, wie in Kasten D von Fig. 3 gezeigt, die dominante Orientierung 36 in dem RB aus den gültigen Randsegmenten in dem RB geschätzt. Diese dominante 15 Orientierung 36 kann erhalten werden, indem zuerst ein Histogramm von Orientierungen von Randsegmenten berechnet wird. Die Spitze in dem Histogramm entspricht der dominanten Orientierung in dem RB, und der eigentliche Wert wird in der Regel durch eine mittlere 20 gewichtete Summe von Orientierungen der Randsegmente berechnet, deren Orientierungen in einem kleinen Bereich (z.B.  $2^\circ$  oder weniger) um die Spitze in dem Histogramm herum liegen. Die dominante Orientierung kann auch durch die Verwendung der Hough- 25 Transformierten gefunden werden, wie in dem US-Patent Nr. 3,069,654 erörtert. Diese Arten von Verfahren zum Bestimmen einer dominanten Orientierung werden beispielsweise in V. Nalwa, A Guided Tour of Computer Vision, Addison-Wesley (1993) erörtert. Die 30 Orientierung jedes Randsegments wird mit der Anzahl von Bildelementen in dem Segment gewichtet. Falls das Histogramm keine eindeutige Spitze aufweist (d.h. eine eindeutige Spitze, die mindestens 50% der Bildelemente in einem kleinen Fenster ( $2^\circ$  oder weniger) um die Spitze 35 herum wiedergibt), wird der RB als ungültig angesehen. Falls die dominante Orientierung eines bestimmten RB sich deutlich von der dominanten Orientierung der meisten RB unterscheidet, wird analog der bestimmte RB als ungültig angesehen. Solche ungültigen RB geben

oftmals störende Straßenmerkmale, wie etwa Straßenschutz, wider.

Nach der Bestimmung der dominanten Orientierung in gültigen einzelnen RB wird der globale Wert der 5 Orientierung für das ganze Bild bestimmt, indem ein Histogramm von Orientierungen von gültigen RB gebildet wird, die Spitze in dem Histogramm erfaßt wird und die mittlere Orientierung für RB gefunden wird, deren Orientierungen in einem kleinen Bereich (z.B. 2° oder 10 weniger) um die Spitze herum liegen. Diese Berechnung ergibt den Winkel der Fahrzeugbewegung in einem Koordinatensystem auf der Grundlage der Kameraorientierung. Schließlich ist es möglich, den Schräglaufwinkel zu bestimmen, indem der berechnete 15 Winkel von einem Referenzwinkel subtrahiert wird, der einer Bewegung ohne Schräglauft entspricht (d.h. der Winkel, in den das Rad gesteuert wird). Aus der Länge gültiger Randsegmente kann auch die Geschwindigkeit des Fahrzeugs bestimmt werden. Es wird beispielsweise eine 20 dominante Randsegmentlänge von gültigen Randsegmenten erhalten, indem die Spur des Histogramms von Längen von gültigen Randsegmenten berechnet wird, und die Geschwindigkeit wird unter Verwendung der bekannten Verschlußgeschwindigkeit aus dieser dominanten 25 Randsegmentlänge bestimmt.

Diese Technik ist eine Möglichkeit, wie eine Analyse der überwachten Streifen vorgenommen werden kann. Es sind auch andere Arten der Analyse geeignet, die auf ähnliche Weise die mittlere oder dominante 30 Bewegung bestimmen. So kann man beispielsweise, anstatt sich in relevanten Bereichen einzelne Streifen anzusehen, das ganze Bild global analysieren. Eine Möglichkeit, wie dies geschehen kann, ist durch eine Frequenzbereichsanalyse. So wandelt die Fourier- 35 Transformation eines Bilds das Bild aus dem Raumbereich in ein gleichwertiges Bild im Frequenzbereich um. Falls das Bild orientierte Streifen in dem Raumbereich aufweist, wird das Frequenzbereichsbild eine höchste integrierte Größe und eine höhere Spreizung entlang

einem Winkel orthogonal zu der Orientierung der Streifen und durch den Ursprung in dem Frequenzbereich aufweisen, wie schematisch in Figuren 5A und 5B dargestellt. Diese Technik entspricht im wesentlichen 5 dem Finden der Richtung, in der die Autokorrelation des Bilds einen Höchstwert aufweist.

Die Orientierung ( $\theta$ ) der Streifen wird erhalten aus:

$\theta = 90^\circ - \hat{\phi}$ , wobei  $\hat{\phi}$  die Orientierung ist, entlang 10 derer die Größe in dem Fourier-Bereich am größten ist. Das Bild in dem Fourier-Bereich  $I(u, v)$  kann als  $I(\omega, \phi)$  ausgedrückt werden, wobei  $u = \omega \cos \phi$  ist und  $v = \omega \sin \phi$  ist. Dann wird eine Orientierungsprojektionsfunktion 15  $H(\phi)$  entlang verschiedener Orientierungen in dem Frequenzbereich berechnet, wobei  $H(\phi) = \sum_{\omega_{\text{all}}}^{\omega_{\text{max}}} |I(\omega, \phi)|$ . Der Winkel  $\hat{\phi}$ , für den  $H(\phi)$  am größten ist, bestimmt die 20 Orientierung ( $\theta$ ) der Streifen in dem Bild gemäß  $\theta = 90^\circ - \hat{\phi}$ . (Bei einer derartigen Frequenzbereichsanalyse ist es zudem möglich, falls die 25 Grenzen für den Schräglauwinkel und die Orientierung der Kamera bezüglich der Steuerrichtung bekannt sind, die Verarbeitung zu erleichtern, indem die Analyse auf einen Bereich von Orientierungen beschränkt wird, d.h.  $|\phi_{\text{max}}| < \phi < |\phi_{\text{min}}|$ , wobei  $\phi_{\text{max}}$  und  $\phi_{\text{min}}$  jeweils den erwarteten größten und kleinsten Schräglauwinkel darstellen.) Ähnliche globale Frequenzanalysen sind für den Fachmann 30 offensichtlich.

Bei einer zweiten Ausführungsform wird die Bewegung, d.h. die Ortsänderung, einzelner 35 Oberflächenmerkmale in aufeinanderfolgenden, eng beabstandeten Rahmen, die z.B. um etwa 0,25 ms bis ungefähr 1 ms beabstandet sind, überwacht, um die Fahrrichtung und wahlweise die Geschwindigkeit zu bestimmen. Üblicherweise werden zwei aufeinanderfolgende Rahmen analysiert, obwohl es auch möglich ist, drei oder mehr Rahmen zu analysieren. Zudem sind in der Regel aufeinanderfolgende Rahmen 40

erforderlich, um die Ortsänderung einzelner Merkmale zu analysieren, doch ist es auch möglich, Rahmen zu überspringen, falls eine derartige Ortsänderung immer noch überwacht werden kann. Fig. 6 zeigt die Schritte

5 beim Bestimmen der Geschwindigkeit gemäß dieser Ausführungsform. Bilder werden in aufeinanderfolgenden Rahmen  $A, A'$  erfaßt, wobei bei Fahrzeuggeschwindigkeiten von 100 mph oder darüber eine relativ hohe Geschwindigkeit, z.B. eine

10 Verschlußgeschwindigkeit von ungefähr  $10 \mu s$  oder schneller, verwendet wird. Die Verschlußgeschwindigkeit liegt vorteilhafterweise unter  $\frac{1}{vn}$ , wobei  $l$  das (auf der Bodenebene gemessene) Blickfeld entlang der Richtung parallel zu der Steuerrichtung ist,  $n$  die

15 Anzahl der Bildelemente in der Bildebene entlang dieser gleichen Richtung ist und  $v$  die Geschwindigkeit des Fahrzeugs ist (wobei wieder angenommen wird, daß die Kamera so orientiert ist, daß sie sich zusammen mit einem Rad bewegt). Aus den einzelnen Rahmen  $A, A'$  werden

20 dann statische Merkmale  $41, 41'$  gewonnen. Die gewonnenen Merkmale  $43$  des ersten Rahmens  $A$  werden mit ihrem Ort  $43'$  in dem darauffolgenden Rahmen  $A'$  abgestimmt, und die Bewegungsvektoren  $40$  (d.h. Vektoren, die sowohl Geschwindigkeit als auch Richtung

25 anzeigen) der abgestimmten Merkmale werden bestimmt. Ein dominanter Bewegungsvektor  $42$  wird durch Mittelung der Bewegungsvektoren  $40$  der einzelnen Oberflächenmerkmale berechnet. Aus dem dominanten Bewegungsvektor  $42$  werden

30 Kamerakalibrierungsinformationen verwendet, um den Winkel der Bewegung der Oberfläche in einem mit der Kamera verbundenen Koordinatensystem zu bestimmen, und die Fahrzeuggeschwindigkeit kann ebenfalls bestimmt werden. Der Schräglauftwinkel wird durch Subtrahieren

35 des berechneten Bewegungswinkels von einem Referenzwinkel berechnet, der der Bewegung ohne Schräglauftwinkel (d.h. der Steuerrichtung) entspricht.

Die einzelnen Merkmale 41,41' in aufeinanderfolgenden Rahmen können durch eine Vielzahl von Techniken gewonnen werden, einschließlich Schwellwertbildung, die beispielsweise in 5 US-A-5,764,283 erörtert wird, deren Offenbarung durch Bezugnahme hier aufgenommen ist. So werden beispielsweise Gebiete mit hoher Intensität in einem Rahmen durch Schwellwertbildung der Intensitätswerte in 10 dem Bild gefunden. Unter Schwellwertbildung wird verstanden, Bildelemente mit Intensitätswerten zurückzuhalten, die über einem bestimmten gewählten 15 Schwellwert, z.B. 80%, eines maximalen Intensitätswerts liegen. (Der maximale Intensitätswert ist in der Regel entweder ein im voraus gewählter Wert oder er wird auf 20 der Grundlage des jeweiligen analysierten Rahmens ausgewählt.) Insbesondere wird bei einer Ausführungsform Bildelementen mit einer über diesem Schwellwert liegenden Intensität ein Wert 1 zugewiesen, und den übrigen Bildelementen wird ein Wert 0 25 zugewiesen. (Siehe Fig. 6A, in der die quadratischen Gebiete Bildelemente darstellen.) Bildelemente mit einem Wert 1 werden dann wie folgt zu Gebieten gruppiert. (Siehe Fig. 6B, eine Nahansicht eines Teils von Fig. 5A. Die quadratischen Gebiete in Fig. 6B stellen Bildelemente dar.)

- 1) Das aktuelle Bildelement erhält eine eindeutige Gebietskennung L;
- 2) Es wird bestimmt, ob irgendwelche der dem aktuellen Bildelement benachbarten Bildelemente 30 (m, n, o, p, q, r, s, t) einen Wert 1 aufweisen;
- 3) Wenn kein benachbartes Bildelement einen Wert 1 aufweist, Anhalten;
- 4) Für jeden Nachbarn mit einem Wert 1 ab Schritt (1) wiederholen.

35 Durch diesen Prozeß werden benachbarte Bildelemente zu Gebieten von Bildelementen mit einem Wert 1 gruppiert. In der Regel werden Gebiete mit zu wenigen Bildelementen mit Wert 1, z.B. weniger als 5, verworfen. Die resultierenden elektronischen

Bildelementgruppierungen stellen gewonnene Merkmale 43, 43' dar, die Straßenoberflächenmerkmale darstellen.

Die Abstimmung geschieht in der Regel, indem in einem Rahmen nach einem gewonnenen Merkmal mit 5 Charakteristika gesucht wird, die einem anderen gewonnenen Merkmal ähnlich sind. Eine derartige Ähnlichkeit wird in der Regel durch die Intensitätscharakteristika von Oberflächenmerkmalen, die Merkmalsgröße und/oder die Merkmalskonturen 10 bestimmt. So wird beispielsweise für jedes gewonnene Gebiet in einem Rahmen am Ort  $x, y$  in einer Nachbarschaft ( $N_x, N_y$ ) von  $x, y$  in dem aufeinanderfolgenden Rahmen nach abgestimmten Gebieten gesucht. Das Maß der Abstimmung zwischen zwei 15 beliebigen Gebieten ist gegeben durch  $d = \Delta A + \Delta I_m + \Delta e$ , wobei  $\Delta A$  die flächenmäßige Differenz zwischen den beiden Gebieten (in Form einer Anzahl von Bildelementen) darstellt,  $\Delta I_m$  die Differenz der mittleren Intensität von Bildelementen in zwei Gebieten 20 und  $\Delta e$  die Differenz der Exzentrizitäten der beiden Gebiete darstellen. (Wie in der Technik bekannt, ist die Exzentrizität das Verhältnis der maximalen Sehne A in einem Gebiet zu der maximalen Sehne B senkrecht zu A im gleichen Gebiet.) Das am besten abgestimmte Gebiet 25 in dem aufeinanderfolgenden Rahmen ist dasjenige, für das  $d$  am kleinsten ist. (Siehe auch die Erörterung von Gewinnung und Abstimmung in US-A-5,764,283, auf das oben Bezug genommen wurde).

Der Bewegungsvektor wird unter Verwendung von 30 Prozessen bestimmt, wie sie beispielsweise in Abschnitt III von J. Aggarwal und N. Nandhakumar, "On the Computation of Motion from Sequences of Images - A review", Proceedings of the IEEE, Band 76, Nr. 8, August 1988 bei 917 erörtert werden, wobei diese 35 Offenbarung durch Bezugnahme hier aufgenommen ist. Der Bewegungsvektor ist in der Regel die die Schwerpunkte der abgestimmten Gebiete verbindende Linie.

Bei dieser Ausführungsform ist es möglich, eine Lichtquelle (in der Regel ein Stroboskoplicht oder

einen Ringblitz) zu verwenden, die während der Kamerabelichtung blitzt. So kann ein verbessertes Bild erhalten werden, da kleinere Kameraöffnungen und Belichtungen verwendet werden können, wodurch die 5 Schärfentiefe der Kamera vergrößert und ihre Bewegungsverwischung reduziert wird. Um eine erwünschte Beleuchtung zu liefern, wird das Stroboskop oder der Blitz vorteilhafterweise so nahe wie möglich an der Kamera plaziert und in die gleiche Richtung wie die 10 Kamera ausgerichtet.

Eine dritte Ausführungsform gestattet die Verwendung einer Analyse ähnlich der zweiten Ausführungsform, ohne daß aber eine derartige Hochgeschwindigkeitskamera notwendig wäre. Insbesondere 15 wird eine Kamera in Verbindung mit einer Lichtquelle, in der Regel ein Stroboskoplicht, verwendet, so daß Stroboskopblitze beispielsweise zweimal in einem einzelnen Kamerarahmen durchgeführt werden. Die typische Verschlußgeschwindigkeit der Kamera liegt für 20 Fahrzeuggeschwindigkeiten von 100 mph oder darüber im Bereich von 0,25 ms bis 2 ms. Die beiden mit Stroboskoplicht aufgenommenen Bilder sind im allgemeinen durch eine Periode getrennt, die von 25  $\frac{0,25}{v} l$  bis  $\frac{0,75}{v} l$  reicht, wobei  $l$  das (auf der Bodenebene gemessene) Blickfeld entlang der Richtung parallel zu der Steuerrichtung ist und  $v$  die Geschwindigkeit des Fahrzeugs ist (wobei wieder angenommen wird, daß die Kamera so orientiert ist, daß sie sich zusammen mit einem Rad bewegt). 30 Dementsprechend liegt die Verschlußgeschwindigkeit im allgemeinen bei ungefähr  $\frac{0,3}{v} l$  bis  $\frac{0,8}{v} l$ . Bei dieser Ausführungsform werden zwei überlappende Bilder der Oberfläche zu zwei Zeitpunkten in einem einzelnen Rahmen erfaßt. Siehe zum Beispiel Fig. 7, die eine bei 35  $t=0$  beginnende 1000  $\mu$ s-Kamerabelichtung zeigt. Ein erster 10  $\mu$ s-Stroboskopblitz wird bei  $t=200$  durchgeführt, und ein zweiter 10  $\mu$ s-Stroboskopblitz bei

t=800. Eine Technik zum Analysieren des durch diese Ausführungsform erhaltenen Bilds ist in Fig. 8 dargestellt. Der Rahmen 50 enthält überlappende Bilder, die einzelne Oberflächenmerkmale enthalten. Die 5 einzelnen Oberflächenmerkmale werden gewonnen und abgestimmt, und aus den abgestimmten Merkmalen werden Bewegungsvektoren 52 bestimmt. Aus den Bewegungsvektoren 52 wird ein dominanter Bewegungsvektor 54 berechnet, und wie oben erörtert 10 wird aus dem dominanten Bewegungsvektor 54 der Winkel der Bewegung der Oberfläche in einem mit der Kamera verbundenen Koordinatensystem zusammen mit der Fahrzeuggeschwindigkeit bestimmt. Der Schräglaufwinkel wird wie oben erörtert berechnet. Die Gewinnung, die 15 Abstimmung und die Bestimmung der einzelnen und dominierenden Bewegungsvektoren erfolgt wie in der vorausgegangenen Ausführungsform erörtert. Wegen der Überlappung der Bilder kommt es bei dieser Ausführungsform im Vergleich zu der vorausgegangenen 20 Ausführungsform, in der aufeinanderfolgende Rahmen analysiert wurden, in der Regel zu einer bestimmten Verwischung, aber die Verwischung tritt in einem geringeren Ausmaß auf als bei einer typischen kontinuierlichen Belichtung von 1000  $\mu$ s oder darüber.

25 Vorrichtungen, die sich für die Ausführung dieser dritten Ausführungsform eignen, sind in den Figuren 9 und 10 gezeigt. Fig. 9 zeigt eine Vorrichtung, die an einem Fahrzeug 60 montiert ist, das über eine Oberfläche 61 fährt. Die Vorrichtung enthält 30 ein einzelnes Stroboskoplicht 62 zusammen mit einer Kamera 64. Ein Signal von einem Auslösersignalgenerator öffnet den Verschluß der Kamera 64, wobei das Signal in eine erste Verzögerung eintritt, bevor es einen ersten Stroboskopblitz auslöst, und dann in eine zweite 35 Verzögerung, bevor es einen zweiten Stroboskopblitz auslöst. Der Verschluß schließt sich, und der Prozeß wiederholt sich, z.B. gemäß der in Fig. 7 gezeigten Zeitlinie. Das in Fig. 9 gezeigte Abschattungsrohr 66 ist wahlweise enthalten, damit der Stroboskopblitz im

ganzen Blickfeld der Kamera die dominierende Lichtquelle sein kann.

Fig. 10 zeigt eine Vorrichtung, die an einem Fahrzeug 70 montiert ist, das über eine Oberfläche 72 fährt. Die Vorrichtung enthält zwei Stroboskoplichter 73, 74 in Verbindung mit einer Kamera 76. Ein Signal von einem Auslösersignalgenerator öffnet den Verschluß der Kamera 76, wobei das Signal in eine erste Verzögerung eintritt, bevor es einen ersten Stroboskopblitz von dem ersten Stroboskoplicht 73 auslöst, und dann eine zweite Verzögerung, bevor es einen zweiten Stroboskopblitz von dem zweiten Stroboskoplicht 74 auslöst. Der Verschluß schließt sich und der Prozeß wiederholt sich, z.B. gemäß der Zeitlinie von Fig. 7. Wie in Fig. 9 wird wahlweise ein Abschattungsrohr 78 verwendet. Durch die Verwendung von zwei Stroboskoplichtquellen kann im Gegensatz zu einer einzelnen Quelle jede Quelle Blitze mit größeren Verzögerungen zwischen ihnen liefern.

Bei dem Prozeß der Erfindung sind der Aufbau und die Anbringung von Kameras, Stroboskoplichtern und zugeordneten Geräten in der Regel für einzelne Fahrzeuge spezifisch. Die Struktur eines Fahrzeugs bestimmt teilweise, wo die Geräte angebracht werden können. Es müssen auch Fahrzeugmerkmale, wie etwa Aerodynamik und Schwingungen, berücksichtigt werden. Wünschenswerte Anordnungen von Geräten können von Leuten, die sich mit Fahrzeugen und Kamerageräten auskennen, leicht festgestellt werden.

Was Kamerageräte anbetrifft, so haben beispielsweise typische NTSC-Kameras mit Zeilensprungabtastungen ein Feld von ungefähr 240 Zeilen (vertikal) und 640 Spalten (horizontal). Der vertikale Bildelementabstand beträgt in der Regel das Doppelte des horizontalen Bildelementabstands, was zu einem Seitenverhältnis horizontal zu vertikal von 4:3 führt. Es ist deshalb möglich, zwischen mit Stroboskoplicht aufgenommenen Rahmen längere Streifen oder längere Abstände zu erhalten, wenn die Kamera so

orientiert ist, daß ihre horizontale Abmessung parallel zu der Steuerrichtung verläuft. Mit der vertikalen Abmessung parallel zu der Steuerrichtung wird jedoch eine höhere Winkelauflösung erhalten. Je nach dem 5 erwarteten Schräglaufwinkel ist es somit möglich, die Kamera so zu orientieren, daß die Auflösung verbessert wird. Außerdem ist es möglich, zwei orthogonal zueinander orientierte Kameras zu verwenden, um die 10 Genauigkeit des gemessenen Schräglaufwinkels zu verbessern.

Nach Betrachtung der Spezifikation und der Praxis der hier offenbarten Erfindung sind für den Fachmann weitere Ausführungsformen der Erfindung offensichtlich.

## Ansprüche

1. Prozeß zum Bestimmen einer Fahrzeugdynamik beim Fahren, mit den folgenden Schritten:
  - 5 Überwachen der Bewegung von Merkmalen in einer Oberfläche, über die ein Fahrzeug fährt; undAnalysieren der Bewegung, um mindestens eine Fahrzeugdynamik zu bestimmen, beispielsweise die Richtung der Fahrzeuggbewegung und/oder die Geschwindigkeit des Fahrzeugs, vorzugsweise auch den Schräglauwinkel, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Überwachens mit Hilfe einer Kamera durchgeführt wird,  
der Schritt des Analysierens das Analysieren der Oberflächenbeschaffenheit der Merkmale in einem einzelnen Kameraformatbild umfaßt und die Oberflächenbeschaffenheitsanalyse folgendes umfaßt:  
Identifizieren von Rändern oder Punkten mit einem hohen Bildintensitätsgradienten in dem Kameraformatbild;
  - 20 Berechnen der Orientierung eines mit den Rändern oder Punkten mit einem hohen Bildintensitätsgradienten verbundenen Randsegments; und
  - 25 Bestimmen einer dominierenden Orientierung der Randsegmente.
2. Prozeß zum Bestimmen einer Fahrzeugdynamik beim Fahren, mit den folgenden Schritten:
  - 30 Überwachen der Bewegung von Merkmalen in einer Oberfläche, über die ein Fahrzeug fährt; undAnalysieren der Bewegung, um mindestens eine Fahrzeugdynamik zu bestimmen, beispielsweise die Richtung der Fahrzeuggbewegung und/oder die Geschwindigkeit des Fahrzeugs, vorzugsweise auch den Schräglauwinkel, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Überwachens mit Hilfe einer Kamera durchgeführt wird,

der Schritt des Analysierens das Analysieren der Oberflächenbeschaffenheit der Merkmale in einem einzelnen Kameraformatbild umfaßt und

die Kameraverschlußgeschwindigkeit  $t_s$  in den 5 Bereich  $\frac{1}{2v} < t_s < \frac{1}{v}$  fällt, wobei  $l$  das Blickfeld der

Kamera in der Steuerrichtung und  $v$  die Fahrzeugschwindigkeit ist.

3. Prozeß zum Bestimmen einer Fahrzeugdynamik beim Fahren, mit den folgenden Schritten:

10 Überwachen der Bewegung von Merkmalen in einer Oberfläche, über die ein Fahrzeug fährt; und

Analysieren der Bewegung, um mindestens eine Fahrzeugdynamik zu bestimmen, beispielsweise die Richtung der Fahrzeuggbewegung und/oder die Geschwindigkeit 15 des Fahrzeugs, vorzugsweise auch den Schräglauftwinkel, dadurch gekennzeichnet, daß

der Schritt des Überwachens mit Hilfe einer Kamera durchgeführt wird,

der Schritt des Überwachens der Bewegung das 20 Überwachen individueller Merkmale der Oberfläche in mindestens zwei aufeinanderfolgenden Kameraformatbildern umfaßt und

die Kamera mit einer Verschlußgeschwindigkeit von unter  $\frac{l}{vn}$  arbeitet, wobei  $l$  das Blickfeld in der

25 Steuerrichtung,  $n$  die Anzahl von Bildelementen in der Bildebene entlang der Steuerrichtung und  $v$  die Geschwindigkeit des Fahrzeugs ist.

4. Prozeß nach Anspruch 3, wobei der Schritt des Analysierens folgendes umfaßt:

30 Abstimmen individueller Merkmale in den mindestens zwei aufeinanderfolgenden Bildern;

Bestimmen von Bewegungsvektoren für die abgestimmten Merkmale; und

Bestimmen eines dominanten Bewegungsvektors.

35 5. Prozeß zum Bestimmen einer Fahrzeugdynamik beim Fahren, mit den folgenden Schritten:

Überwachen der Bewegung von Merkmalen in einer Oberfläche, über die ein Fahrzeug fährt; und

Analysieren der Bewegung, um mindestens eine Fahrzeudynamik zu bestimmen, beispielsweise die Richtung der Fahrzeuggbewegung und/oder die Geschwindigkeit des Fahrzeugs, vorzugsweise auch den Schräglauwinkel, dadurch gekennzeichnet, daß

der Schritt des Überwachens der Bewegung mit mindestens einem Stroboskoplicht in Kombination mit einer Kamera derart durchgeführt wird, daß während einer einzelnen Kameraformatbelichtung mindestens zwei Stroboskopblitze durchgeführt werden und

die Stroboskopblitze durch einen Zeitraum im Bereich von  $\frac{0,25l}{v}$  bis  $\frac{0,75l}{v}$  getrennt sind und die Kamera 15 mit einer Verschlußgeschwindigkeit im Bereich von  $\frac{0,3l}{v}$  bis  $\frac{0,8l}{v}$  arbeitet, wobei  $l$  das Blickfeld in der Steuer-richtung und  $v$  die Geschwindigkeit des Fahrzeugs ist.

6. Prozeß nach Anspruch 5, wobei der Schritt des Analysierens folgendes umfaßt:

20 Abstimmen individueller Merkmale in dem einzelnen Kameraformatbild;

Bestimmen von Bewegungsvektoren für die abgestimmten Merkmale; und

Bestimmen eines dominanten Bewegungsvektors.

25 7. Prozeß nach Anspruch 5 oder 6, wobei der Schritt des Analysierens weiterhin folgendes umfaßt:

Berechnen des Winkels der Fahrzeuggbewegung aus dem dominanten Bewegungsvektor; und

30 Bestimmen des Schräglauwinkels aus dem Winkel der Fahrzeuggbewegung.

8. Prozeß nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schritt des Überwachens mit einer Kamera durchgeführt wird, die so angebracht ist, daß sie die Ausrichtung auf ein Rad des Fahrzeugs derart beibehält, 35 daß eine Richtung im Blickfeld der Kamera parallel zu der Steuerrichtung des Fahrzeugs verläuft.

17.07.01

- 25 -

9. Prozeß nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei zwei oder mehr Kameras an dem Fahrzeug angebracht sind, um die Bewegung der Merkmale zu überwachen.
10. Prozeß nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 5 weiterhin mit dem Schritt des Überwachens des Steuerwinkels.
11. Fahrzeug mit einer Vorrichtung zum Bestimmen einer Fahrzeugdynamik beim Fahren, wobei die Vorrichtung so ausgelegt und angeordnet ist, daß sie einen 10 Prozeß nach einem der vorhergehenden Ansprüche ausführt.

17.07.01  
0945319

1/6

FIG. 1

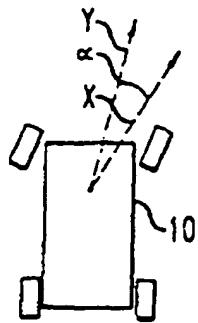
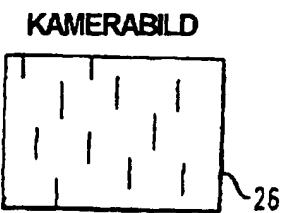
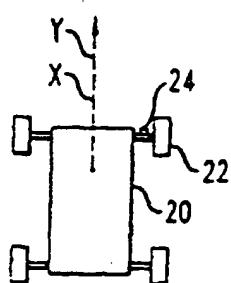
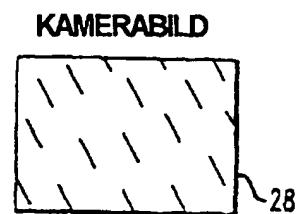
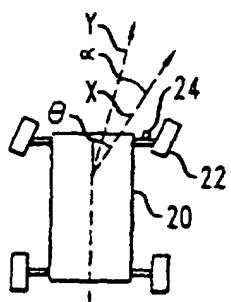


FIG. 2A



5

FIG. 2B



17.07.01

2/6

FIG. 3

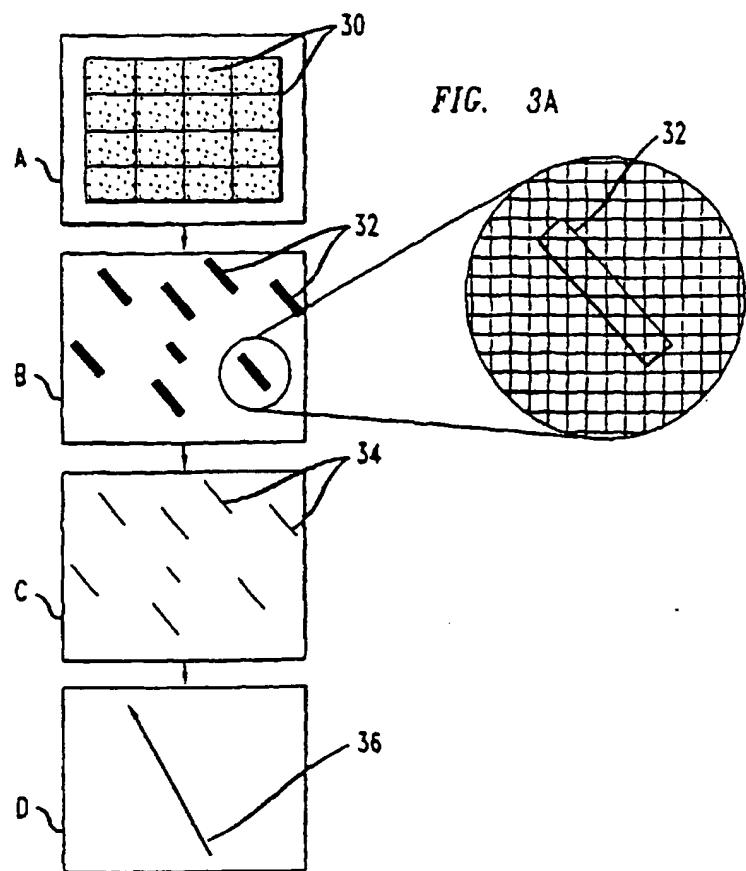


FIG. 4

a	b	c
d	e	f
g	h	i

17.07.01

3/6

FIG. 5A

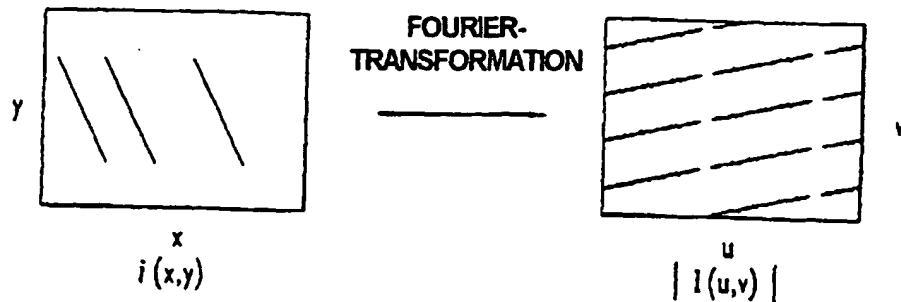
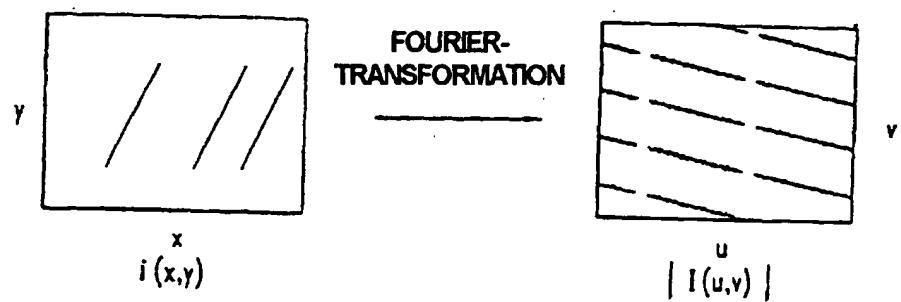


FIG. 5B



17.07.01

4/6

FIG. 6

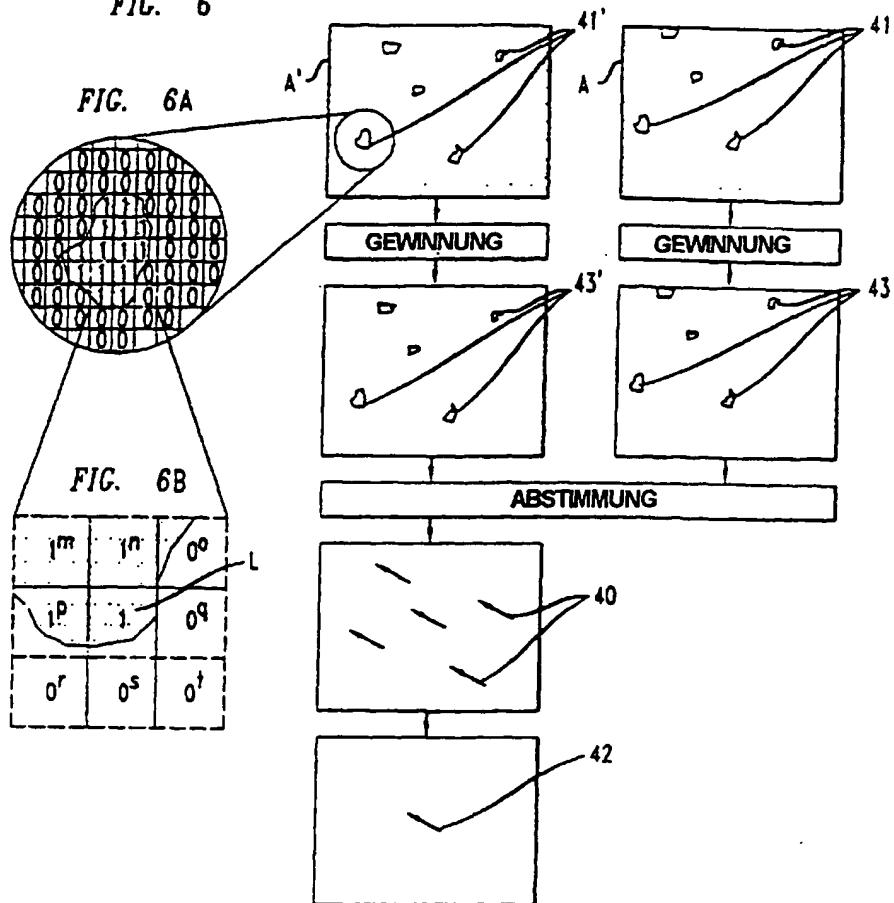
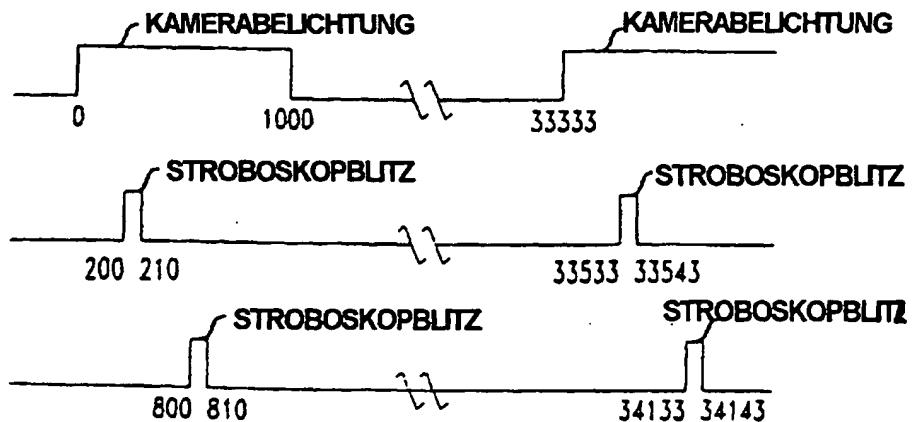


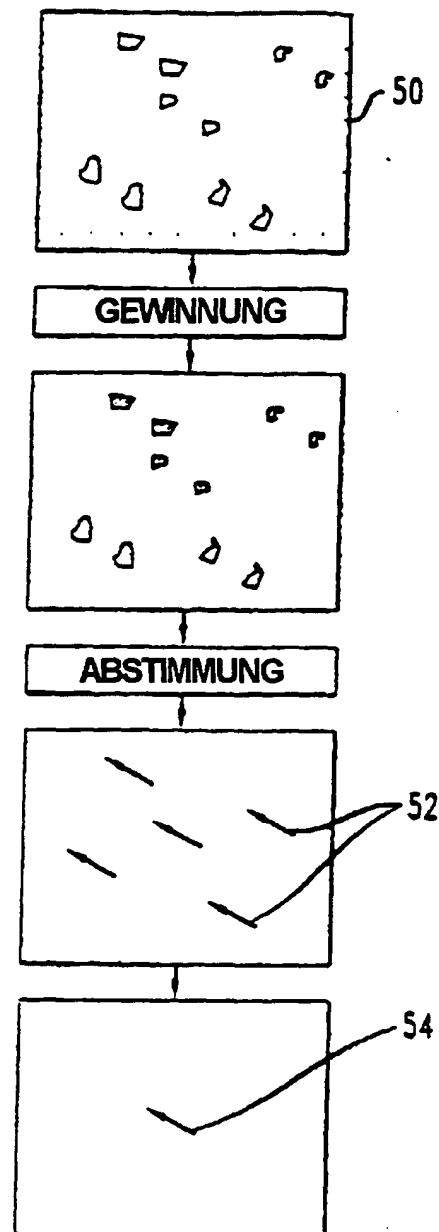
FIG. 7



17.07.01

5/6

FIG. 8



17.07.01

6/6

FIG. 9

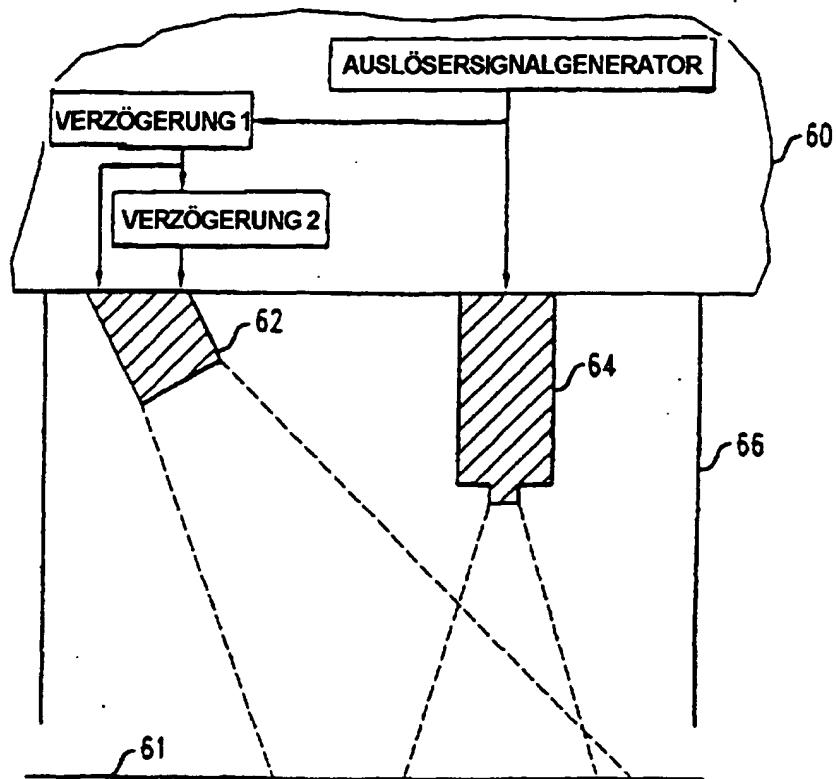


FIG. 10

